

林木育種研究と最近の成果

誌名	育種学研究 = Breeding research
ISSN	13447629
著者	田島, 正啓
巻/号	3巻2号
掲載ページ	p. 103-108
発行年月	2001年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



特集記事

林木育種研究と最近の成果 —林木育種センターを中心として—

田島正啓

(独立行政法人林木育種センター, 十王町, 茨城県, 〒319-1301)

Researches of forest tree breeding and the latest results

Masahiro Tajima

(Forest Tree Breeding Center, Independent Administrative Institution, Jyuo, Ibaraki, 319-1301, Japan)

キーワード：林木, 他殖性, 精英樹, 材質, 抵抗性, スギ花粉症

はじめに

国土の保全と資源の増産を目的として、国と県の公的機関が推進母体になり全国を5つの育種基本区に区分して、林木育種に関する研究と事業が組織的に始まったのは今から40数年前である。当初の育種目標は、①成長量の増大、②材質の向上、そして③気象害や病虫害などの抵抗性の向上であった。これら3つの目標は林木育種の根幹をなすもので、今も変わっていない。近年、森林機能の多様化と地球環境などの問題が新たに加わり、④特定形質、⑤成分特性、そして⑥適応性の3つを加えて計6つの育種目標を掲げて仕事を進めている。

育種を行う場合、それぞれの目標に対して優れた材料を選抜することから仕事が始まる。林木育種の場合、成長や通直性など様々な外部形質や外部形態を総合的に吟味した優良個体を精英樹として選抜しており、この他に抵抗性に優れた気象害抵抗性個体や病虫害抵抗性個体を選抜している。これらとは別に例えば、特定形質として花粉の少ないスギやヒノキ個体の選抜、成分特性としてローソクや高級化粧品などの原料に用いるハゼの実の含ロウ率が高い個体の選抜、或いは漢方薬に用いるベルベリン含有量の高いキハダの選抜などを行っている。適応性としては、やせ地などの特殊な立地条件や非皆伐施業に適した品種の創出を目指して、耐やせ地性個体や耐陰性個体の選抜にも取り組んでいる。更に近年は地球環境を考慮したCO₂問題に関連し、精英樹の中から炭素固定能力の高い個体の選抜など、多岐にわたる研究に取り組んでいる。

林木は巨大で、他殖性であり、成熟までに長年月を要し、また環境制御が難しい植物である。何時までたっても改良効果が見えにくく、育種研究の対象としては甚だ

不利な植物である。しかし40数年が経過した現在、少しずつではあるがその成果が見え始めたので、先に述べた6つの育種目標の幾つかについて、途中段階ではあるがその成果と今後の展望について記述する。

1 成長形質の改良

先に述べたように我が国の主要樹種であるスギ、ヒノキ、カラマツ、エゾマツ、トドマツなどに関して成長形質が特に優れた個体を精英樹として選抜している。現在その数は針葉樹が29種約9,500個体、広葉樹は15種約400個体である。これらの精英樹は一旦つぎ木でクローン化して原種として育種センターに保存している。針葉樹を主体にそれらのクローン苗を用いて各都道府県に採種園、採穂園が作られ、そこからユーザーに種苗が供給される仕組みになっている。現在造成されている採種・穂園の数は全樹種込みで採種園が471箇所、採穂園が177箇所である。これらの採種・穂園から生産される種苗はそうでない一般の種苗と区別して特に育種種苗と呼んでいるが、育種種苗の単年度の普及率は現在約55%を占めている。一方では、選抜された各精英樹等の家系特性やクローン特性を調べるために、各採種木や採穂木から養苗した実生苗やクローン苗を用いて、全国約2,100箇所に次代検定林を設定している。これらの次代検定林の調査は5年おきに実施しており、現在も継続中である。調査は少なくとも伐期に達する40年までは継続する計画である。途中段階であるが15年生に達した60箇所以上の次代検定林の解析結果から得られた育種効果は、在来種苗に比べて樹高で1.2~1.3倍、胸高直径で1.3~1.4倍増加していることが明らかになった(表1)。

精英樹は表現形で選抜されたものであるから、検定を行って遺伝的に本当に優れているものだけに絞り込む必要がある。現在、針葉樹を中心として採種・穂園から評価の低い精英樹クローンを除去し、評価の高い別な精英樹クローンを植え込むなどして遺伝的に優れたクローン構成に改善する「採種・穂園の体質改善」を進めている。

表1. 成長量に関する改良効果(15年生)

樹種	スギ	ヒノキ
樹高	120%	133%
胸高直径	130%	136%
材積	203%	242%

スギは関西域(石井1997), ヒノキは関東地域(欠畑ら1997)

この操作により改良効果は更に10数%向上することが見込まれている(N. C. State University 1998). 更に将来に備えて評価が行われた精英樹や抵抗性個体を用いた大々的な交雑を行っており, その次世代集団から次代の精英樹を選抜していく計画である.

他方では, 成長性, 通直性, 材質, 増殖性などの諸形質に関するこれまでのデータを解析して, 育種基本区別に全ての精英樹について「精英樹特性表」を作成している. 更に, それらの中のスギ, ヒノキ, カラマツに関してはユーザーが自分の経営目標に応じて取捨選択出来るように, ①成長性, 通直性あるいは材質形質などが総合的に優れた品種を「総合評価に基づいた推奨品種」として, ②成長性が特に優れた品種を「成長に基づいた推奨品種」として, また③ヤング率などの材質形質が優れたものを「材質に基づいた推奨品種」として公表を行っている.

2 材質形質の改良

木材利用において, 材質の善し悪しはその価値を左右する大きな要因である. ユーザーが植林する場合, 漠然と苗木を選ぶのではなく, 事前に苗木の特性が分かっているならば, 将来生産されるであろう木材の品質が予め予測出来る. 育種センターではこのようなニーズに答えるために, 各精英樹の特性把握に努めてきた. 近年, 次代検定林やクローン集植所の材料が成熟し, 材質に関する測定機器類の整備, それに伴う解析技術の開発が行われ, 比較的簡単に材質形質の測定が行われるようになった. 現在, JAS規格(日本農林規格)の改正に伴って, 育種センターではヤング率, 容積密度, 含水率あるいは年輪構造など木材の利用を念頭においたスギの材質形質の調査・研究を行っている. その結果, 非常に興味ある結果が得られたので, その概要について記す.

ヤング率は材の強度を表わす指標であるが, JAS規格でもこの指標の機械等級区分を行っている. 一般にスギのヤング率は40~140×Kgf/cm²の範囲にあり, 100以下の値を示す場合が多い(図1縦軸参照. JAS規格ではヤング率はEで表示す. 例えばヤング率40~60×Kgf/cm²の範囲をE50と表示する). その値は大きい方が良いとされている. 12の精英樹クローンのさし木苗を共通に用いて九州地域の6つの試験地に植えられた材料の分析の結果, どの試験地でもヤング率が概して高

×10³kgf/cm²

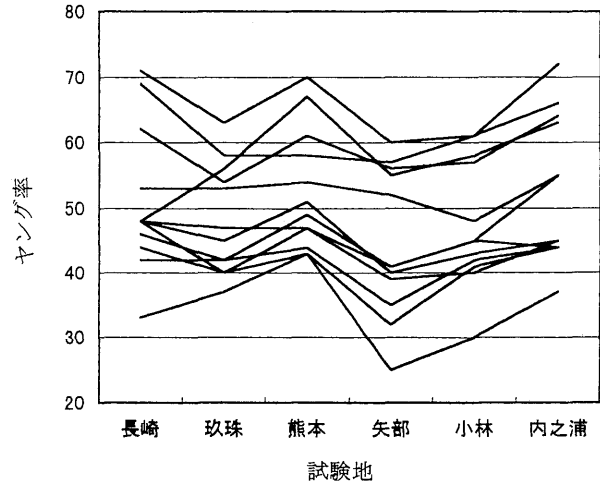


図1. 6試験地におけるスギ精英樹クローンのヤング率(藤澤ら1994を图示)

い値を示すクローンと, 低い値を示すクローンがあることが分かった(図1)(Fujisawa et al. 1994). 表2に示したようにクローンのヤング率の反復率は0.86であり, また家系遺伝率は0.29であることからこの形質はそれぞれの木が生来持っている性質であり, 環境の影響を受けにくい指標であることが明らかになった. また容積密度は水分を除いた単位体積当たりの材の重さを示す指標であるが, その値が大きいほど材は堅硬で強く良い木材とされている. 木材の心材含水率は個体によるバラツキが著しく一般的には100%前後から高いものは200%を越す範囲の値を示す. 柱材や板材などを材木として商取引する場合の含水率は15%程度と決められている. 従って含水率は生来低い方が良く, 丸太搬出経費や林産加工分野で重要な問題となっている人工乾燥経費の削減につながる形質である. 容積密度と含水率の家系遺伝率はそれぞれ0.44と0.47, クローンの場合の反復率はそれぞれ0.60と0.66を示し(表2), ヤング率と同様に遺伝的性質がかなり強いことが分かってきた(藤澤1998). 従ってこれらの特性がはっきりしている家系の種苗を選ぶことが大事であり, 選択することによって将来その木材の品質が保証される訳である. 更に, 将来は優れたもの同士の交雑を行うことでこれらの形質の改良が可能であることを意味している.

表2. クローン間の反復率と家系間の遺伝率

形質繁殖区分	ヤング率	容積密度 (辺材)	容積密度 (心材)	含水率
クローン間	0.86	0.51	0.60	0.66
家系間	0.29	0.14	0.44	0.47

(藤澤ら1998)

3 抵抗性関係

抵抗性関係は、病虫害と気象害に分けられる。病虫害関係ではマツノザイセンチュウ抵抗性、マツバナタマバエ抵抗性、そしてスギカミキリとスギザイノタマバエ抵抗性について取り組んでいる。気象害関係では多雪地帯に対応した耐雪性と、寒さに対する耐寒性について取り組んでいる。以下これらの抵抗性の中の幾つかについてその概要を記す。

(1) マツノザイセンチュウ抵抗性

昭和40年代後半から西日本を中心として本病の被害が爆発的に拡大し、大きな社会問題になったことは記憶に新しいことと思う。被害は現在も進行中で、当初その被害を予測していなかった比較的冷温な東北地域や日本海沿岸地域あるいは海拔の比較的高い内陸部地域にも被害が拡大しつつあり、大きな問題になっている。被害をもたらす真犯人はマツノザイセンチュウであり(徳重・清原1969)、このセンチュウと共生関係にあるのがマツノマダラカミキリで、この昆虫が運び屋の役割を演じている(森本・岩崎1971)。マツ枯損のメカニズムの解明に起因してマツノザイセンチュウを人工的に大量増殖して行う人工接種検定法が開発され本センチュウに対する抵抗性育種が可能になった。昭和53年から7年間、当時被害が激しかった瀬戸内、四国、九州地域を対象に九州林木育種場、関西林木育種場および同四国支場(現在の林木育種センター九州育種場、同関西育種場及び同四国事業場)が中心になりこの地域に該当する14県と共同で、「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」を進めてきた。このプロジェクトの進め方は、自然淘汰された激害林分の中から素性の良い2万6千本余りの健全個体を選んでそれぞれの個体から採穂して、つぎ木を行い、クローン苗を育成した。そしてこれらの個体に予め増殖したザイセンチュウを人為的に接種し検定する方法で抵抗性個体の選抜を行った。接種検定は確実性を期するために、まず1次検定でフルイに掛け、パスしたものは再度クローン増殖して2次検定を行った。その結果、アカマツ92個体、クロマツ16個体、計108個体が抵抗性個体として合格した(藤本ら1989)。現在これらの抵抗性個体のクローン苗を用いて、アカマツは17県で、クロマツは21県で抵抗性採種園が造られ、抵抗性種苗の生産が行われている。さて抵抗性採種園から生産される種苗の抵抗性がどの程度あるのか関心のあるところである。抵抗性と聞けば一般に絶対枯れないというイメージが強いが、本病に対する抵抗性の場合、農作物の場合と違って栽培環境を人為的に制御することが出来ないことと、マツ類は風媒花植物で他殖性であることなどの理由から抵抗性(力)の基準をテラダマツレベルにおいて選抜を実施した。当初アカマツ、クロマツそれぞれから最低50個体以上の抵抗性個体を選抜する計画であったが、結果

的にアカマツ92個体、クロマツ16個体が合格した。図2からも明らかなように、樹種レベルで抵抗性に違いが見られた。アカマツ抵抗性クローンと非抵抗性個体の抵抗性の平均値はそれぞれ65.2%と38.4%であるが、クロマツの場合の抵抗性はそれぞれ58.4%と15.1%である(図2)。現在、抵抗性が余り高くない家系の採種木を既存の抵抗性採種園から取り除き、抵抗性の高い個体と入れ替える「採種園の体質改善」を行っている。例えば、70%以下の抵抗性を示す採種木を採種園から取り除き、70%以上の抵抗性を示す採種木と入れ替えることで採種園全体の抵抗性は約10%向上すると予測されている(戸田ら1993, 戸田1996)。アカマツの抵抗性個体数は92と比較的多くまずまず安心であるが、クロマツの場合は全体でわずか16個体と少なく将来的に問題がある。更に選抜地域が近畿以西の地域であるため、これらの抵抗性個体でアカマツとクロマツそれぞれの種苗配布区域(大体、中国、中部山岳、東北地方の脊梁山脈を結んだ線の太平洋側一帯)全域をカバーするには遺伝変異や適応性の問題が残されている。特にクロマツに関しては抵抗性個体数が少ないため追加選抜を進めている。また近年、東北地域や日本海沿岸地域の種苗配布区域でも本病の被害が著しいことから、該当県と共同でこの地域に適応した新たな抵抗性個体の選抜に取り組んでいる。

(2) マツバナタマバエ虫害抵抗性

マツバナタマバエによる被害はアカマツ、クロマツ等のマツ林で度々見られる。本成虫は蚊の形態を呈し大きさも同程度である。当年生針葉の2針間に産卵し、卵から孵化した幼虫はすぐに針葉内に侵入して虫えいを形成するため針葉の伸長は減退もしくは枯死するため樹木の生長は著しく低下する。被害がひどいと木全体が枯死に到る場合がある。このような被害に対して被害林分から無被害木あるいはそれに近い個体を抵抗性候補木として60個体選抜した。これら候補木の追跡調査あるいは候補木のつぎ木クローンを用いて行った現地検定の結果、42個体を抵抗性個体として選抜した。更にこれらの抵抗性個体と非抵抗性個体の間で人工交配を行い、それらの子供群について行った被害調査の結果、抵抗性×抵抗性の家系では73%が、抵抗性×非抵抗性の家系では48%が、非抵抗性×非抵抗性の家系では0%が抵抗性個体であった(図3)。これらの分離比から、抵抗性は1つの優性遺伝子によって支配されていることが、また交配に用いた抵抗性の親個体はいずれもヘテロ接合個体であることを明らかにした(寺田1992)。

更にこれらの親と交配子供群を材料として、この抵抗性遺伝子と連鎖しているRAPDマーカーの検出を行った。1160のプライマーについて分析した結果、5.1cM～13.6cMと比較的近い距離で連鎖しているOPC06、OPD01およびOPAX19という3つのプライマーの検出に成功し、中でもOPC06をマーカーにした場合は90%以

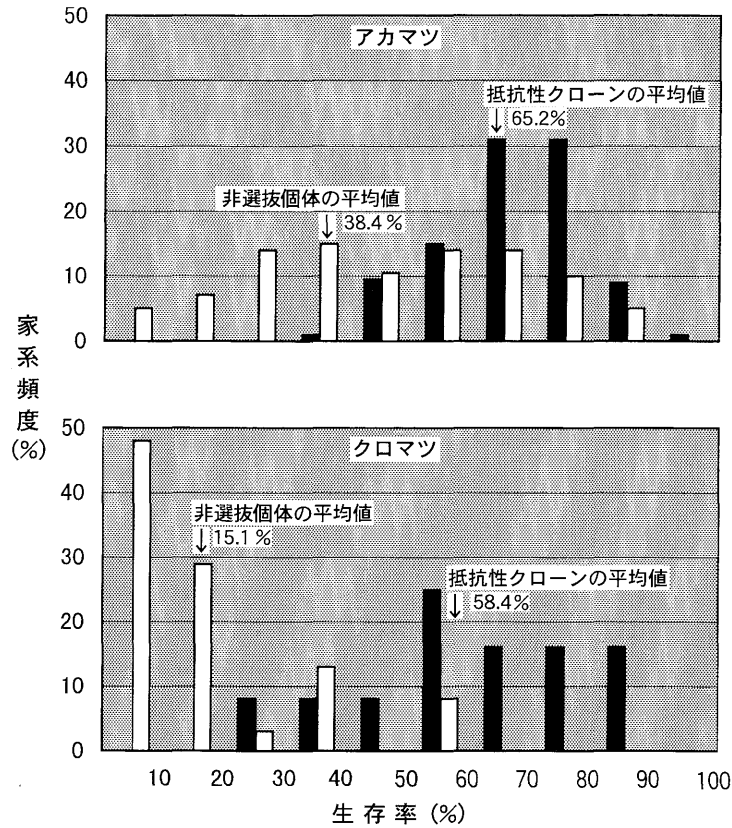


図2. 抵抗性クローン及び非抵抗性個体の実生後代の抵抗性 (戸田1996)

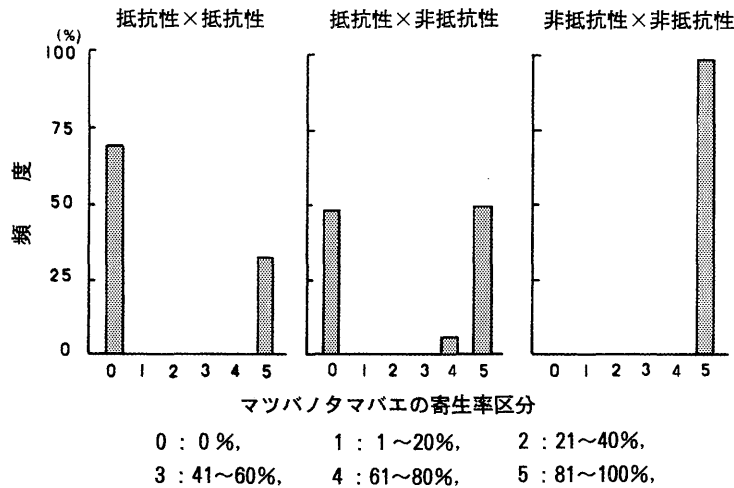


図3. 抵抗性個体と非抵抗性個体の交配子孫群における分離状況 (寺田1992)

上の確率で選抜が可能であることを示した。また *OPC06* は相引関係にあり *OPD01* と *OPAX19* は相反関係にあることも明らかにしている。更に98の多型マーカーを用いた染色体地図の作製も進めている (Kondo *et al.* 2000)。

4 特定形質

毎年3~4月になると花粉症に悩まされる人々が多

く、天気予報でも花粉飛散に関する予報が行われている。現在日本人の10人に1人が花粉症といわれている。一口に花粉症と言っても、スギやヒノキの花粉のほかに、例えばハンノキなどの樹木のほかにブタクサやセイタカアワダチソウなどの1年生性植物の花粉に反応する人もおり、またその原因も車の排気ガスとの併合、食生活の変化など複合的である。いずれにせよスギやヒノキの花粉が社会に対して悪影響を及ぼしていることは事実であ

る。

スギの花粉は雄花(俗に言うスギの実)のなかに含まれており、雄花は枝の先端部に雌花と隣接して固まって房状に着生している。雄花の中には多数の葯が存在し、個々の葯にはおよそ3,300個の花粉粒が含まれている。あの小さな1つのスギの実の中に40万個もの花粉が入っていると言うから驚きである(図4)。従って1本のスギの木からは天文学的な数の花粉が放出されていることになる。

今や国民病とまで言われているスギ花粉症に対して林木育種センターでは2つの面から研究を進めている。1つは花粉の発生源となる雄花着花量の少ない個体の選抜と創出であり、他の1つは花粉中に含まれるアレルゲン含有量の少ない個体の選抜である。

前者の場合は、既存のスギ精英樹保存園、採種園あるいは次代検定林を調査して雄花着花量の少ない個体を選抜する方法である。これまでも精英樹特性調査の一環として増殖性の調査を行ってきた。従って改めて山に出向きゼロの状態から選抜を行わなくても、これまで蓄積してきたデータを参考にして次代検定林などで確認調査をすることで比較的効率良く選抜が出来る。しかも精英樹からの選抜を主体にしているので選抜個体は当然他の諸形質もそれなりに優れていることになり、林業的にも十分対応が可能である。東京周辺の8県に設定されている次代検定林15箇所で行ってスギ雄花着生状況の調査を4年間継続して行った。その結果、約180の精英樹クローンの中から15クローンを花粉の少ない精英樹として選抜できた。関東育種基本区で選抜されているスギ精英樹クローンの数は951であり、今回の調査数はその2割に満たない。残されたスギ精英樹についても都県と共同で10年間継続して調査を行っており、近々新たに花粉の少ないスギ精英樹が選抜される計画である。更にスギが自然分布しない北海道を除いた東北、関西、九州の3つの育種基本区でも同様の調査を進めており、全国規模で花粉の少ないスギ品種が選ばれる計画である。

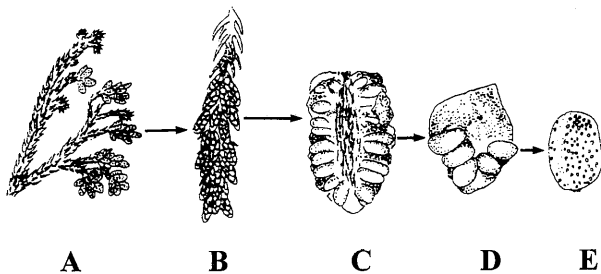


図4. スギの雄花

- A: 枝に着いている雄花, B: 房状の雄花
 - C: 雄花の横断面, D: 鱗片の中に葯が4~5個ある
 - E: 葯(花粉のう), この中に約3,300個の花粉がある(幾瀬1965)
- (原図近藤1997)

一方、自然界で雄性不稔個体が見つかっており、この個体では葯(花粉のう)や花粉が出来ないことが知られている。農業生物資源研究所放射線育種場の協力を得て、ガンマーフィールドに植栽されているスギの花粉稔性について調査した結果、小粒の花粉を高頻度を持つ雄花が検出されている(Kondo 1997)。従って放射線照射等による雄性不稔の突然変異育種も可能性を秘めている。

次に、スギ花粉の中の何が我々人体に悪い影響を及ぼしているかと言うと、Cry j1, Cry j2というアレルゲンが真犯人であることが医学の分野で最近明らかにされた(Yasueda *et al.* 1983, Sakaguchi *et al.* 1990)。育種センターではこのような研究成果を受けて、スギ精英樹の花粉中に含まれているアレルゲン含有量の違いについて調査を進めている。比較的簡便な方法で抽出が可能である花粉1g中のCry j1の量について調査を行った。関東育種基本区で選抜された精英樹153個体について分析を行った結果、精英樹間で大きな違いがあり少ない個体と多い個体の間では50倍以上の差があることを確認した(後藤ら1999)。

この結果を受けて東北、関東、九州の3育種基本区で選抜されたスギ精英樹について調査を行った結果、最少16μg、最多1420μgと個体によってその差は90倍近くあり、幅広い個体間変異を認めている。更に興味あることは、東北育種基本区のCry j1含有量の平均値は442μg、関東育種基本区が539μg、そして九州育種基本区が366μgであり、3地域でその含有量に明らかな違いがあることが認められた(図5)。また前述した関東育種基本区で選抜された花粉の少ないスギ12クローンのCry j1含有量の平均含有量は652μgであり、花粉をつけない個体との相関関係は現時点ではあまり高くないようである(近藤2000)。しかし中には非常に低いアレルゲン含有量を示す個体もあることから、将来的にはこれらアレルゲンの遺伝性の解明が必要である。更に花粉をつけない個体に加えてアレルゲン含有量の比較的低い個体を花粉症対策用として活用していくことが考えられる。

5 今後の育種の動向

化石燃料などによる地球温暖化、異常気象、あるいは熱帯林の減少などの問題解決の一環として森林が果たす役割は大きい。昨今のマスメディアや1997年12月の京都会議で6%という具体的な数値によってCO₂削減目標が示された。林木育種分野においてもこれらの問題に対して貢献出来ると考えている。その方法には2つあり、いずれも今まで行ってきた育種目標の一部である。1つは成長量の増大、他の1つは材の利用面から重要な材質形質の1つである容積密度の向上である。材積の増大に関しては前述のとおりで、未改良種苗に較べて育種種苗の材積増加率は2倍にもなることが明らかにされている(表1)。更に熱帯地方で広く植林に用いられている早生

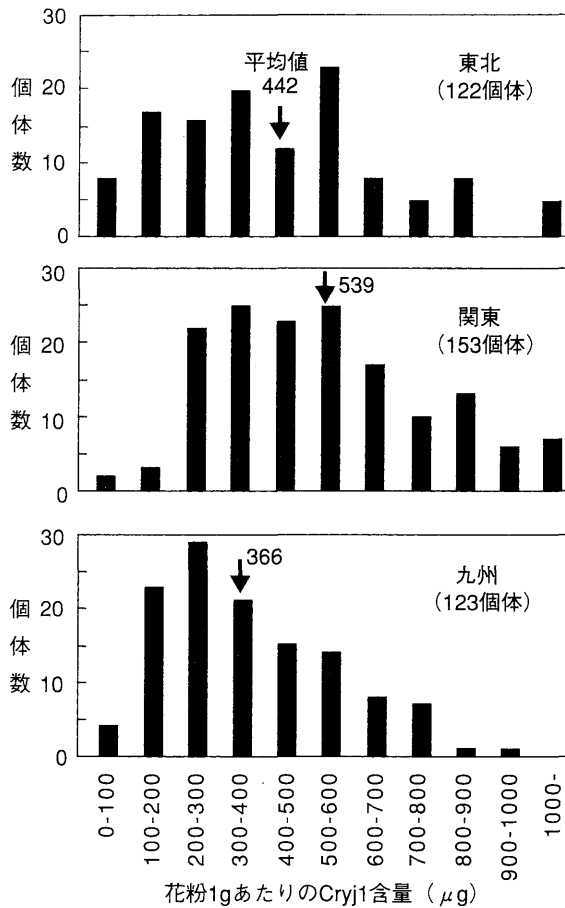


図5. スギ花粉中のCryj1含有量の地域間変異 (後藤1999)

樹種の *Eucalyptus granndis* の伐期は7～8年であるが、この樹種の2世代目、3世代目、4世代目の材積の改良効果は実験的にそれぞれ3.1倍、3.6倍、5.7倍と直線的向上することが報告されている (Reddy and Rockwood 1989)。乾材積の重さのおよそ1/2は炭素であることから、改良された種苗はそれだけ多くの炭素を材に蓄積することになる。

一方、材質的に容積密度が高いことは単位体積当たりの炭素固定量が多いことを意味している。これまでのスギに関する研究の結果、心材の容積密度は品種によって大きな変異があること、またこの形質の遺伝率も0.44と高いことから(表2)、今後炭素固定能の観点から更なる研究が必要になる。木材の利用面の観点からも、また炭素固定と言う地球環境の観点からも、今後林木育種が果たす役割は大きいものがある。

引用文献

- 藤本吉幸・戸田忠雄・西村慶二・山手廣太・冬野劭一(1989)林育研報7: 1-84.
- Fujisawa, Y., S. Ohta, K. Nishimura, T. Toda and M. Tajima (1994) Mokuzaigakkaishi 40(5): 457-464.
- 藤澤義武(1998)林育研報15: 31-108.
- 後藤陽子・近藤禎二・安枝 浩(1999)日本花粉学会誌45: 149-152.
- Kondo, T. (1997) Gamma Field Symposia 36: 83-90.
- 近藤禎二(2000)科学技術庁報告書: 466-471.
- Kondo, T., K. Terada, E. Hayashi, N. Kuramoto, M. Okamura and H. Kawasaki (2000) Theor. Appl. Genet. 100: 391-395.
- 森本 桂・岩崎 厚(1971)日林九支論25: 165-166.
- N. C. State University (1998) 42nd North Carolina State University - Industry cooperative tree improvement program -. N. C. State Univ. Annual report 1998: p 24.
- Reddy, K. V. and D. L. Rockwood (1989) Silvae Genetica 38: 148-151.
- Sakaguchi, M., S. Inouye, M. Tanai, S. Ando, M. Usui and T. Matuhasi, (1990) Allergy 45: 309-312.
- 寺田喜美雄(1992)林育研報10: 1-32
- 戸田忠雄・田島正啓・西村慶二・竹内寛興(1993)林育研報11: 37-87.
- 戸田忠雄(1996)森林防疫532: 132-136.
- 徳重陽山・清原友也(1969)日林誌51: 193-195.
- Yasueda, H., Y. Yui, T. Shimizu and T. Shida (1983): J. Allergy Clin. Immunol. 71: 77-86.